

MAQUINARIA

PERSPECTIVA GLOBAL

Edição nº 225 • Setembro 2012 • € 3,50



Construção na China

Rede ferroviária de alta velocidade
terá 50.000 km em 2020

Brasil

Grandes projectos revolucionam
a mobilidade em São Paulo

A REPORTS

Volvo Trucks explora versatilidade dos motores Diesel

B MUNDO EM CONSTRUÇÃO

Projectos, Iniciativas e Mercados

C MÁQUINAS

Lançamentos, Tecnologia e Inovação

D EMPRESAS E NEGÓCIOS

Drulofor, AMA, CTC e MMBIZ distribuem a Bomag

E ENGENHARIA

Utilização de nanopartículas no desenvolvimento de betões
de elevado desempenho, por F. Pacheco Torgal



VIDEO

TERMÁQUINA E DRAGFLOW

Bombas submersíveis
para Dragagem, Minas,
Indústria e Ambiente



ENGENHARIA
.....

Utilização de nanopartículas no desenvolvimento de betões de elevado desempenho

Os betões de elevado desempenho apresentam vantagens ambientais óbvias comparativamente aos betões correntes, é por isso pouco normal que ao nível do mercado de betão pronto, respeitante aos 25 países membros e associados da European Ready Mixed Concrete-ERMCO, somente uns ínfimos 11% respeitem aquele segmento em particular. E o facto de essa quota permanecer inalterada nos últimos dez anos só contribui para tornar a situação ainda mais paradoxal, já que os betões de elevado desempenho possibilitam a execução de estruturas com menor consumo de aço, menor consumo de betão e permitem a sua colocação em serviço em prazos mais curtos. Têm ainda a vantagem adicional de ter uma vida útil superior e logo um menor impacto ambiental.

Por F. Pacheco Torgal

Introdução

O betão é o material mais utilizado no Planeta Terra, com uma produção de aproximadamente 10 km³/ano. A título de comparação, a quantidade de tijolos cerâmicos, madeira e aço são respectivamente de apenas 2 km³/ano, 1,3 km³/ano e 0,1 km³/ano. A principal desvantagem ambiental associada ao

mesmo diz respeito ao material ligante, o cimento Portland, que é responsável por quase 80% das emissões de CO₂ do betão. Tendo em conta o elevado volume de betão produzido anualmente isso significa que este material é responsável por quase 7% do total de emissões de CO₂ a nível mundial [1]. Este facto é particularmente gravoso no

actual contexto das alterações climáticas, podendo no entanto agravar-se ainda mais pois prevê-se que, até ao ano 2050, haja uma duplicação da produção de betão comparativamente aos valores de 2010.

De acordo com as últimas estatísticas da ERMCO, o consumo de betão pronto nos 25 países membros e associados

daquela organização, que ascendeu a quase 400 milhões de toneladas, esteve em termos médios maioritariamente concentrado nas classes de resistência C25/30 e C30/37, enquanto que, por exemplo, o consumo médio respeitante ao segmento dos betões de elevada resistência acima de 41MPa (State-of-the-art report on high-strength concrete, American Concrete Institute Committee ACI 363 R) não foi além de 11% do consumo total. Tendo em conta que as estatísticas da ERMCO relativas ao consumo de betão pronto na última década mostram que esta percentagem se mantém inalterada ao longo desse período, isso significa que a procura de betões de elevado desempenho se encontra, de certa forma, congelada. Esse facto embora parcialmente entendível numa perspectiva simplista de procurar o betão de menor custo é no entanto bizarro em face das vantagens intrínsecas deste material face aos betões de menor resistência que são os mais procurados pelo mercado. As estruturas executadas com estes últimos são, regra geral, menos



duráveis do que se forem executadas com betões de elevado desempenho, podendo vir no futuro a necessitar de operações de manutenção e/ou conservação, ou mesmo nalguns casos a necessitar de serem substituídas na íntegra, com os consequentes consumos de energia e matérias-primas não renováveis daí decorrentes. Torna-se por isso intuitiva a relação entre o

Figura 1:

Estrutura de betão onde é visível a corrosão das armaduras

Um novo sistema para produzir e distribuir betões

Equipamento móvel, com uma concepção fortemente inovadora, que permite o transporte de todos os componentes para o fabrico de betão: inertes, cimento, água, aditivos químicos separados em contentores, produzindo as composições de modo proporcional, contínuo e segundo os parâmetros definidos.



BLEND | impianti mobili per la miscelazione di conglomerati a freddo

Via Golgi, 5/7 - 25064 Gussago (BS) - Italy
Tel. +39 030318390 / Fax +39 030315579

www.blendplants.com • info@blendplants.com

aumento da vida útil de uma estrutura e a redução do seu impacto ambiental. A degradação de estruturas de betão é aliás um problema frequente com custos quase incontroláveis.

Só nos EUA estima-se que 27% de todas as obras de arte apresentam sinais de degradação devido a problemas de corrosão, ascendendo a quase 150 biliões de dólares o custo das obras de reparação e reforço das mesmas. Para lá daquilo que é a reduzida durabilidade dessas estruturas em virtude da deficiente colocação e cura do betão, parte substancial do problema muito se fica a dever ao cimento Portland, o qual contém uma elevada quantidade de hidróxido de cálcio, que é facilmente susceptível de ataque químico. Também a permeabilidade relativamente elevada dos betões correntes, os mais procurados pelo mercado, vai permitir o ingresso de água, gases e substâncias agressivas, que provocam fenómenos de carbonatação e de corrosão das armaduras (Figura 1).

A utilização de betões de elevado desempenho permite ainda a execução de estruturas com menor consumo de

aço e também com menor volume de betão. Hegger *et al.* [2] referem reduções na ordem dos 50% no consumo de aço em pilares e de 33% no consumo de betão, para um aumento de 3 vezes da resistência à compressão do betão. Além disso a utilização destes materiais está usualmente associada à colocação das estruturas em serviço em prazos mais curtos, o que conjugado com as poupanças de aço e betão contribui para aumentar a competitividade económica destes materiais, assim desmistificando o ónus associado ao seu maior custo inicial. As razões atrás referidas tornam por isso evidentes as diversas vantagens associadas à utilização dos betões de elevada resistência mecânica e elevada durabilidade, ditos de elevado desempenho.

Betão com nanopartículas

A nanotecnologia envolve o estudo à escala do nanómetro ($1\text{nm} = 1 \times 10^{-9}\text{m}$), para se ter um ponto de comparação é preciso ter presente que um cabelo humano tem 80.000nm de espessura e que a dupla hélice de ADN tem aprox. 2nm de diâmetro. Estimativas feitas em 2001 apontavam para que

o valor dos produtos e serviços associados à nanotecnologia ascendesse a 1.000.000 de milhões de dólares/ano, a partir de 2015. O relatório RILEM TC 197-NCM "Nanotechnology in construction materials" sintetiza de forma clara e bastante exaustiva as potencialidades da nanotecnologia em termos do desenvolvimento de materiais de construção. Uma das áreas referida nesse relatório envolve a utilização de nanopartículas com vista à produção de betões de elevado desempenho. A produção de nanopartículas pode ser obtida quer através de uma elevada energia de moagem [3], ou através de síntese por processos químicos [4]. As nanopartículas apresentam uma elevada razão superfície específica por volume (Figura 2) e, devido à sua elevada reactividade, comportam-se como centros de nucleação, contribuindo para o desenvolvimento da hidratação do cimento Portland. A maioria das investigações nesta área recorre ao uso de nanosilica (nano- SiO_2) e nanodióxido de titânio (TiO_2), embora algumas investigações já tenham utilizado nanopartículas de Fe_2O_3 [5].

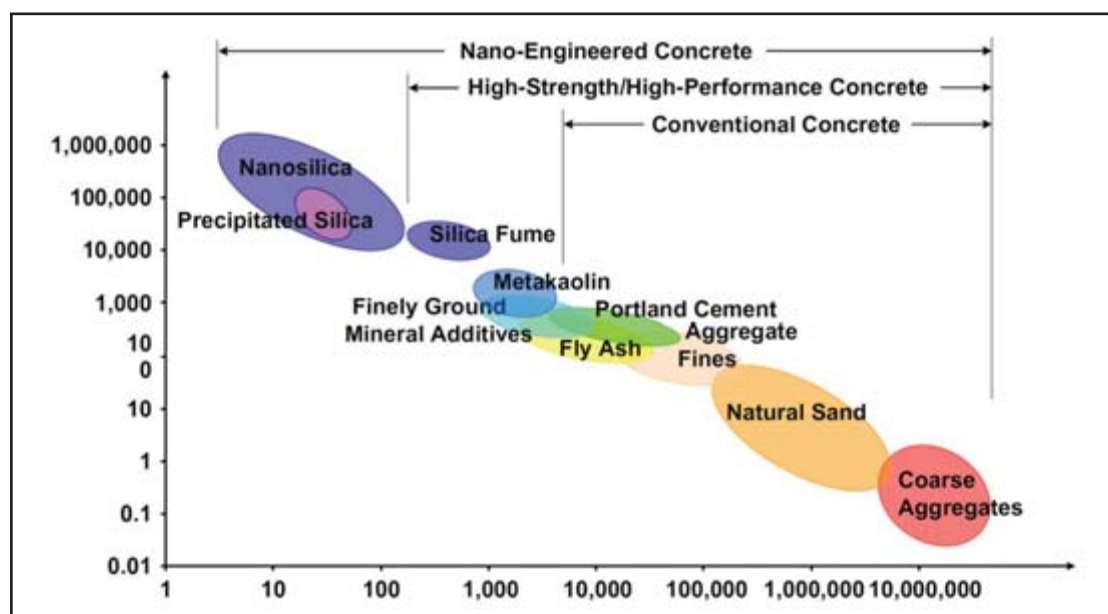


Figura 2:
Relação entre dimensão e superfície específica em partículas constituintes de betões [5]

Resistência mecânica

Alguns autores [6] referem que a utilização de nanosílica contribui para aumentar a resistência à compressão. Os mesmos autores salientam que esse efeito não se fica a dever à reacção pozolânica porquanto o consumo de Ca(OH)_2 observado foi residual, mas antes ao crescimento de compostos de sílica que provocam uma densificação da estrutura. Lin *et al.* [7] estudaram a incorporação parcial de cinzas de RSU e cinzas volantes, aditivadas com nanopartículas de SiO_2 , referindo que estas partículas compensam os efeitos negativos associados à incorporação das cinzas de RSU e das cinzas volantes, quer em termos de redução do tempo de presa, quer também de aumento da resistência à compressão em idades iniciais. Sobolev *et al.* [8] obtiveram aumentos de resistências entre 15% a 20% pela adição de nanopartículas de SiO_2 , mencionando valores entre 93 MPa a 115 MPa ao fim de 28 dias de cura. Alguns autores referem que a utilização de nanosílica provoca um aumento da dimensão dos compostos CSH e da sua rigidez, contribuindo para um melhor desempenho mecânico das pastas de cimento [9]. Nasibulin *et al.* [10] referem que a utilização de nanopartículas pode levar a

um aumento para o dobro da resistência à compressão. Outros autores [11] utilizaram nanopartículas em compósitos contendo 20% de cinzas volantes revelando que a utilização de 1% de nanopartículas por massa do ligante, permitiu alcançar uma resistência de 51,8 MPa aos 28 dias (equivalente à utilização de 100% de cimento), significando isso que os nanopartículas permitiram compensar a diminuição de resistência associada à substituição de cimento por cinzas volantes, que é uma pozolana pouco reactiva em termos de resistências iniciais. Gdoutos-Konsta *et al.* [12] utilizaram uma percentagem menor, de apenas 0,08% por massa do ligante, constatando um aumento do desempenho mecânico. Outros autores [13] utilizaram nanopartículas de ZrO_2 com uma dimensão média de 15nm em betões auto-compactáveis, tendo observado um aumento da resistência mecânica desde que a percentagem daquelas não exceda 4%. Para percentagens superiores os mesmos autores verificaram uma redução da resistência mecânica que se prende com o facto das nanopartículas não terem ficado distribuídas de forma homogénea no betão. Givi *et al.* [14] utilizaram nanopartículas de sílica com diferentes dimensões médias

(15 e 80 nm) referindo que a percentagem de substituição óptima ocorre respectivamente para 1.0% e 1.5%.

Durabilidade

Investigações levadas a cabo por Ji [15] mostram que os betões contendo nanopartículas de sílica apresentam menor permeabilidade à água. A explicação do fenómeno tem a ver com a redução da quantidade de hidróxido de cálcio- Ca(OH)_2 resultando numa interface pasta de cimento-agregado mais densa. Outros autores [16] observaram uma redução da permeabilidade do ião cloro em betões contendo 1% de nanopartículas por massa de cimento. Li *et al.* [17] constataram que os betões com nanopartículas apresentam uma maior resistência à abrasão do que os betões contendo fibras de polipropileno. Os mesmos autores referem também que os betões com nanopartículas de dióxido de titânio apresentam uma maior resistência à abrasão do que os betões com nanopartículas de sílica. Givi *et al.* [18] referem que os betões com nanopartículas apresentam menor absorção de água. Ozyildirim e Zegetosky [19] estudaram betões contendo 4% de nanopartículas de Fe_2O_3 por massa de cimento, tendo verificado que estes apresentavam uma permeabilidade

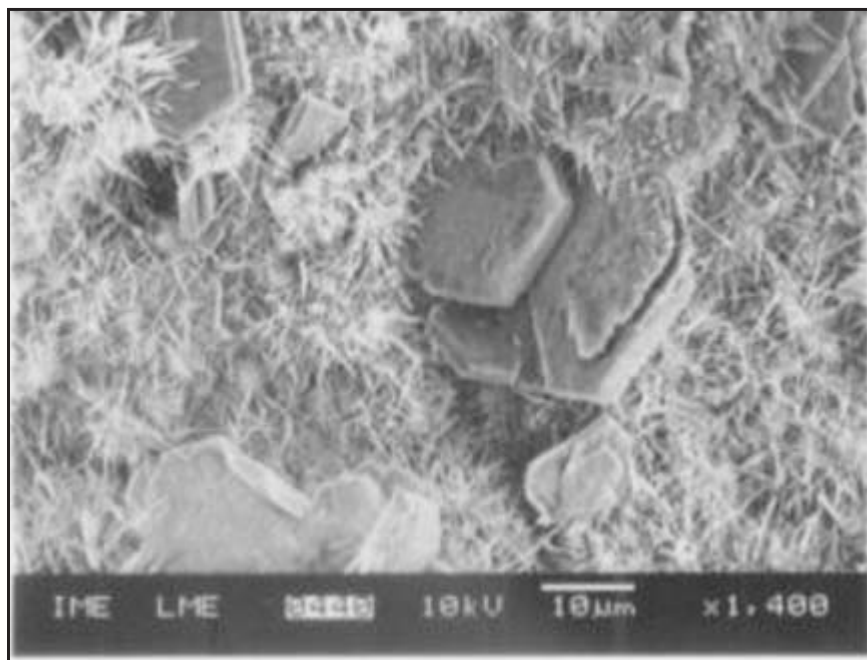


Figura 3:
Cristais de Ca(OH)_2 e estruturas CSH visíveis na microestrutura de uma amostra fracturada de cimento Portland com 28 dias de idade

menor que os betões de referência sem nanopartículas. Outros autores [20] também observaram uma redução da permeabilidade em betões com 4% de nanopartículas de TiO_2 por massa de cimento e substituição de 45% de cimento por escórias de alto forno. Shekari e Razzaghi [21] compararam o desempenho de betões com 1,5% de quatro tipos diferentes de nanopartículas (ZrO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_3O_4) tendo constatado que os betões com nanopartículas de Al_2O_3 foram os que apresentaram os melhores resultados. Nazari e Riahi [22] estudaram betões com diferentes percentagens de nanopartículas de Al_2O_3 com uma dimensão média de 15 nm, tendo observado que a utilização de uma percentagem de 1% otimiza o desempenho do betão. Outros autores [23] referem que os betões com nanopartículas de SiO_2 apresentam uma microestrutura menos densa quando comparados com betões contendo nanopartículas de TiO_2 . Como consequência, a resistência à penetração de cloretos é maior no segundo caso para betões com

idêntica percentagem de nanopartículas. A explicação do facto prende-se com a menor dimensão das partículas de nanopartículas de SiO_2 que tem consequências em termos de necessitarem de uma maior quantidade de água.

Lixiviação do hidróxido de cálcio

Uma condição fundamental associada aos betões de elevada durabilidade é o facto de apresentarem uma reduzida lixiviação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), que é um dos constituintes da matriz cimentícia. É importante ter presente que a microestrutura da mesma é caracterizada pela presença de cristais massivos hexagonais de Ca(OH)_2 e estruturas fibrosas de CSH que constituem aproximadamente 85% dos produtos de hidratação do cimento Portland (Figura 3).

O referido processo de degradação consiste na dissolução progressiva da pasta de cimento quando em contacto com uma solução agressiva (chuva ácida ou outra) ou simplesmente água. Como

consequência, ocorre um aumento da porosidade e permeabilidade do betão que vão permitir, numa fase posterior, a entrada de substâncias agressivas, levando ao aparecimento de problemas de carbonatação e corrosão das armaduras. As diferentes fases constituintes da matriz cimentícia apresentam diferentes taxas de degradação. Enquanto o hidróxido de cálcio é completamente dissolvido, a fase de CSH apresenta uma dissolução mínima perceptível num ligeiro aumento da sua porosidade [24]. Gaitero *et al.* [25] estudaram a influência da utilização de nanopartículas na redução da lixiviação do hidróxido de cálcio. Para o efeito utilizaram betões contendo 6% de quatro tipos diferentes de nanopartículas de sílica, quer em pó quer como dispersão coloidal. Estes autores constataram que a adição de nanopartículas é eficaz na redução da lixiviação do hidróxido de cálcio, contudo os resultados mostraram que essa eficácia está dependente das nanopartículas serem utilizadas como dispersão coloidal.



anfer
METALÚRGICA ANTÓNIO FERNANDES, LDA.
Rua Prof. Dr. Joaquim Fontes, 16 - ARUIL
2715-406 ALMARGEM DO BISPO
Tel.: 21 962 81 90 - Fax: 21 962 81 97
e-mail: met.anfer@anfer.pt - www.anfer.pt

EFICIÊNCIA POR SOLUÇÕES INTELIGENTES

Instalações de Britagem Completas (Fixas e Móveis)

Britadores - Crivos - Moinhos de Martelos
Impactores - Tapetes Transportadores
Alimentadores - Soldaduras - Sobressalentes
Projectos e Capacidade de Resposta Imediata
Estruturas Metálicas de todos os tipos - Contenção de Fachadas
Licenciamento e Projecto de Pedreiras

AUTOR



F. Pacheco Torgal

✉ torgal@civil.uminho.pt

Engenheiro Civil Sénior, investigador do Grupo de Construção Sustentável da Unidade C-TAC da Universidade do Minho. Autor e co-autor de aprox. 200 publicações em revistas e conferências, onde se incluem 40 artigos em revistas internacionais, sendo 29 daquelas listadas no ISI-SCI com 207 citações, o que corresponde a um índice-h=9 (email: torgal@civil.uminho.pt)

REFERÊNCIAS

- [1] Pacheco-Torgal, F.; Jalali, S.; Labrincha, J.; John, V.M. (2012) Eco-efficient concrete. WoodHead Publishing Ltd, Cambridge, UK (in press)
- [2] Hegger, J.; Nitsch, A.; Burkhardt, J. (1997) Hchleistungsbeton im Fertigteilbau. Betonwerk Fertigteil - Technik 2, 81-90.
- [3] Sobolev, K.; Ferrada-Gutierrez, M. (2005) How nanotechnology can change the concrete world: part 2. Am Ceram Soc Bull 84: 16-19.
- [4] Lee, S.; Kriven, W (2005) Synthesis and hydration study of Portland cement components prepared by organic steric entrapment method. Mater Struct 38: 87-92.
- [5] Sanchez, F.; Sobolev, K. (2010) Nanotechnology in concrete – A review. Construction and Building Materials 24, 2060–2071.
- [6] Porro, A.; Dolado, J.; Campillo, I.; Erki-zia, E.; De Miguel, Y.; De Ybarra, Y.; Ayuela, A. (2005) Effects of nanosilica additions on cement pastes. Proc International Conference on Applications of Nanotechnology in Concrete Design, 87-96.
- [7] Lin, D.; Lin, K.; Chang, W.; Luo, H.; Cai, M. (2008) Improvements of nano-SiO₂ on sludge/fly ash mortar. Waste Management 28: 1081-1087.
- [8] Sobolev, K.; Flores, I.; Hermosillo, R.; Torres-Martinez, L. (2008) Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites. American Concrete Institute, ACI Special Publication 254: 93-120.
- [9] Gaitero, J.; Zhu, W.; Campillo, I. (2009) Multi-scale study of calcium leaching in cement pastes with silica nanoparticles. Nanotechnology in Construction 3, Springer Berlin Heidelberg
- [10] Nasibulin A, Shandakov S, Nasibulina L, Cwirzen A, Mudimela P, Habermehl-Cwirzen K, Grishin D, Gavrilov, Y.; Malm, J.; Tapper, U.; Tian, Y.; Penttala, V.; Karpinen, M.; Kauppinen, E. (2009) A novel cement-based hybrid material. New J Physics 11, nº 023013.
- [11] Chaipanich, A.; Nochaya, T.; Won-geo, W.; Torkittikul, P. (2010) Compressive strength and microstructure of carbon nanotubes-fly ash cement composites. Mater Science Eng A527, 1063-1076.
- [12] Konsta-Gdoutos M, Metaxa Z, Shah S (2010) Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials. Cement and Concrete Research 40, 1052-1059.
- [13] Nazari, A.; Riahi, S. (2011) The effects of zinc dioxide nanoparticles on flexural strength of self-compacting concrete. Composites: Part B 42, 167–175.
- [14] Givi, A.; Rashid, S.; Aziz, F.; Salleh, M. (2010) Experimental investigation of the size effects of SiO₂ nano-particles on the mechanical properties of binary blended concrete. Composites: Part B 41 (2010) 673–677.
- [15] Ji, T. (2005) Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO₂. Cement and Concrete Research 35 (2005) 1943 – 1947
- [16] He, X.; Shi, X. (2008) Chloride permeability and microstructure of Portland cement mortars incorporating nanomaterials. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2070, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, 2008, D.C., pp. 13–21.
- [17] Li, H.; Zhang, M.-H.; Ou, J.-P. (2006) Abrasion resistance of concrete containing nano-particles for pavement. Wear 260, 1262–1266.
- [18] Givi, A.; Rashid, S.; Aziz, F.; Salleh, M. (2011) The effects of lime solution on the properties of SiO₂ nanoparticles binary blended concrete. Composites: Part B 42, 562–569.
- [19] Ozyildirim, C.; Zegetosky, C. (2010) Laboratory investigation of nanomaterials to improve the permeability and strength of concrete. Virginia Transportation Research Council, Final Report VTRC 10-R18, 2010
- [20] Khoshakhlagh et al. (2012) Effects of Fe₂O₃ nanoparticles on water permeability and strength assessments of high strength self-compacting concrete. Journal of Materials Science & Technology 28 (2012) 73-82.
- [21] Shekari, A.; Razzaghi, M. (2011) Influence of nanoparticles on durability and mechanical properties of high performance concrete. Procedia Engineering 14, 3036-3041.
- [22] Nazari, A.; Riahi, S. (2011) Al₂O₃ nanoparticles in concrete and different curing media. Energy and Buildings 43, 1480–1488.
- [23] Zhang, M.-H.; Li, H. (2011) Pore structure and chloride permeability of concrete containing nano-particles for pavement. Construction and Building Materials 25, 608–616.
- [24] Haga, K.; Sutou, S.; Hironaga, M.; Tanaka, S.; Nagasaki, S. (2005) Effects of porosity on leaching of Ca from hardened ordinary Portland cement paste. Cement and Concrete Research 35, 1764–1775
- [25] Gaitero, J.; Campillo, L.; Guerrero, A. (2008) Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles. Cement and Concrete Research 38 (2008) 1112–1118.

Publicação do livro

A SUSTENTABILIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A Sustentabilidade dos Materiais de Construção



F. Pacheco Torgal
Said Jalali

A referida obra é composta por 460 páginas e assenta numa extensa revisão da literatura científica e técnica nas diferentes vertentes da sustentabilidade dos materiais de construção, num total de mais de 1000 referências bibliográficas, na sua maioria artigos em revistas científicas internacionais, sendo a mesma constituída pelos seguintes capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução
- Capítulo 2 – Toxicidade dos materiais de construção
- Capítulo 3 – Materiais e energia
- Capítulo 4 – Resíduos de construção e demolição
- Capítulo 5 – Agregados, ligantes e betões
- Capítulo 6 – Unidades para alvenarias
- Capítulo 7 – Materiais compósitos com fibras vegetais
- Capítulo 8 – Sustentabilidade da construção em terra
- Capítulo 9 – Patologia e durabilidade de materiais
- Capítulo 10 – Nanotecnologia e sustentabilidade dos materiais
- Capítulo 11 – Selecção de materiais de construção eco-eficientes

A Sustentabilidade dos Materiais de Construção tem como autores o Eng.º F. Pacheco Torgal, Doutor em Engenharia Civil e investigador da Unidade C-TAC da Universidade do Minho (Portugal) e o Eng.º Said Jalali, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da mesma Universidade (Aposentado).

A iniciativa em causa insere-se na prossecução das metas fixadas pela União Europeia no sentido da redução do consumo de energia e da diminuição de resíduos para o parque edificado, nomeadamente:

- A médio prazo reconversão de 30% do parque edificado com:
 - Redução de 50% da energia;
 - Redução de 30% das matérias-primas;
 - Redução de 40% dos resíduos;
 - Materiais de construção 100% recicláveis;
 - Resíduos de construção demolição aproveitados integralmente.
- Até ao ano 2050:
 - Construção de edifícios novos sem CO₂;
 - Parque edificado até 2005 reconvertido, com redução de 50% de consumo de energia e 75% das emissões de CO₂.

O livro "A Sustentabilidade dos Materiais de Construção" foi patrocinado pelas seguintes entidades e empresas: IHRU, INCI, Stap, VIROC, EDM, ANIPB, Lafarge Betões e APEB. O mesmo está já a ser comercializado sendo que os possíveis interessados na sua aquisição poderão solicitar mais informações para o mail: torgal@civil.uminho.pt.